

Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst, Braunschweig¹
Baumschulberatungsring Weser-Ems e.V., Westerstede²
Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Gartenbauzentrum Münster-Wolbeck/Essen³

Untersuchungen zur Eliminierung von *Phytophthora* spp. aus Recyclingwasser in Baumschulen mit Hilfe von Filtrationsverfahren

Studies on *Phytophthora* spp. Elimination from recycling water in nurseries with filtration systems

Thorsten Ufer¹, Martin Posner², Hans-Peter Wessels³ und Sabine Werres¹

Zusammenfassung

In einem vierjährigen Projekt wurden Langsandsandfilter (LSF) in drei verschiedenen Bauweisen, ein Filtrationssystem mit Lavagranulat (LGF) (Shieer Bio-Filter®) sowie eine Wurzelraumfiltration (WRF) in Baumschulen getestet. Die LSF und die LFG lieferten ausreichende Mengen Wasser für die Gehölzproduktion auf den eingeplanten Containerkulturf lächen. In der WRF reichte die Menge gefiltertes Wasser aus, um wie geplant, 50 % des Gießwasserbedarfs zu decken. Die maximale jährliche Wassermenge, die für die Bewässerung filtriert werden musste, lag zwischen 5800 m³ und 163 000 m³. Die Gesamtkosten für 1 m³ Filtrat waren für den LSF 1 am niedrigsten und für den Wurzelraumfilter am höchsten.

Regelmäßige Beprobungen im Mai, August und Oktober über vier Jahre zeigten, dass die Langsandsand- und der Lavagranulatfilter bei einem ordnungsgemäßen Betrieb *Phytophthora* spp. vollständig aus dem Recyclingwasser eliminierten. Das gefilterte Wasser blieb in den Reinwasserbecken frei von *Phytophthora* spp. wenn sie mit Folie ausgekleidet und mit einem Dach versehen waren oder das Wasser in einem geschlossenen Tank gespeichert wurde. Über die Filterwirkung des Wurzelraumfilters ist auf der Basis der vorhandenen Daten noch keine abschließende Beurteilung möglich.

Stichwörter: *Phytophthora*, Recyclingwasser, Filtrationssysteme, Baumschule

Abstract

In a four year project three filtration systems were tested in commercial nurseries: three Slow Sand (SSF), one Lava Grain (LGF) (Shieer Bio-Filter®) and one Constructed Wetland (CWF) Filtration system. The filtration systems produced sufficient quantities of water for nursery production. The maximum annual quantity of water demanded by the participating nurseries ranged from 5800 m³ up to 163000 m³. The total costs for 1 m³ filtrated water were lowest for the SSF 1 and highest for the WRF.

Regular sampling in May, August and October over a four year period demonstrated complete elimination of *Phytophthora* spp. with the three SSF and the LGF. The filtrates remained free of *Phytophthora* spp. if the clean water reservoirs were protected against contamination via soil and air. The CWF requires continuing analysis for a final judgement.

(Information on the SSF and the LGF in English language: UFER et al., 2008)

Key words: *Phytophthora*, recycling water, filtration systems, commercial ornamental nurseries

1 Einleitung

In Baumschulen ist die Gehölzproduktion in Töpfen und Containern aus marktwirtschaftlichen Gründen (u. a. ganzjähriger Absatz) eine wichtige Kulturform. Um den Wasserverlust auf den Containerkulturf lächen möglichst gering zu halten, wird das Überschusswasser mit Hilfe von Folien, Drainagerohren, Rinnen oder Kanälen aufgefangen und zu großen Sammelbecken abgeführt (Abb. 1). Aus diesen Becken wird dann das Wasser zum Gießen der Containerpflanzen und gegebenenfalls für die Frostschutzberegnung entnommen.

Zu den wichtigsten Schaderregern, die mit dem Wasser übertragen werden können, gehören die pilzähnlichen Mikroorganismen der Gattung *Phytophthora*. Sie befallen, je nach *Phytophthora*-Art, die Gehölze über die Wurzeln, den Stammgrund oder über die Blätter und verursachen u. a. Wurzel-, Stamm-, Trieb- und Fruchtfäulen, Welke und Blattflecken oder Blattnekrosen. Im Gegensatz zu krautigen Pflanzen können bei mehrjährigen und großen Gehölzen die *Phytophthora*-Krankheiten über mehrere Monate bis hin zu Jahren latent verlaufen bevor die infizierten Bestände dann plötzlich zusammenbrechen. Diese lange Latenzzeit birgt die Gefahr, dass die Erreger mit der Verkaufsware verschleppt werden. Die *Phytophthora*-Arten sind hervorragend an das Leben im Wasser angepasst. Sie benötigen Wasser für die vegetative Vermehrung (Sporangien und Zoosporen) und zur Verbreitung. Demnach besteht die große Gefahr, dass diese Erreger mit dem kontaminierten Recyclingwasser bei der Wiederverwendung als Gießwasser oder zur Frostschutzberegnung auf die Containerpflanzen übertragen werden und diese infizieren. Die Übertragung von *Phytophthora* durch kontaminiertes Wasser wurde bereits mehrfach nachgewiesen (WHITESIDE und OSWALT, 1973; BACKHAUS et al., 1990; WERRES et al., 2007).

Im Rahmen des integrierten und vor allem vorbeugenden Pflanzenschutzes ist daher die Ausschaltung der Infektionsquelle „Wasser“ ein wichtiges Ziel. Zur Zeit gibt es in der Bundesrepublik Deutschland keine Pflanzenschutzmittel mit ausgewiesener Anwendung für diesen Bereich. Als alternative und



Abb. 1. Schematische Darstellung eines geschlossenen Bewässerungskreislaufs in einer Containerbaumschule mit Filtrationsanlage.

umweltfreundliche Dekontaminationsverfahren bieten sich Filtrationsverfahren an. Diese Verfahren wurden bisher zur Wasserreinigung jedoch nur in Modellanlagen oder für geschlossene Wasserrecyclinganlagen unter Glas untersucht (WOHANKA, 1993; VAN KUIK, 1994; RUNIA, 1993, 1996; BARTH, 1998; HUETT, 2002; LE QUILLEC et al., 2005), nicht jedoch in großen Wasserrückführungssystemen in Baumschulen.

In einem vierjährigen Forschungsprojekt wurde die Eignung von Langsamsandfilter, Lavagranulatfilter und einer Wurzelraumfiltrationsanlage unter kommerziellen Bedingungen in Baumschulen getestet. Die Hauptziele der Untersuchung waren die Adaption der Anlagen an die kommerziellen Produktionsbedingungen in unterschiedlich strukturierten Baumschulen, die Erhebung betriebswirtschaftlicher Daten zur Ermittlung der Kosten, Filtrationsleistung etc. der verschiedenen Systeme und die Testung der Dekontaminationsleistung hinsichtlich *Phytophthora* spp..

2 Material und Methoden

2.1 Charakterisierung der Baumschulen

Die fünf beteiligten Baumschulen produzierten Gehölze auf Containerkulturflächen im Freiland mit einer Größe von 0,7 bis

15 ha (Tab. 1). Von den Containerkulturflächen wurde das Überschusswasser aus Gießwasser und natürlichen Niederschlägen durch unterschiedliche Drainagesysteme abgeführt und in Auffangbecken gesammelt. Die Auffangbecken waren in allen Betrieben offene Becken von unterschiedlicher Größe zwischen 400 und 30 000 m³ (Tab. 1). Aus den Auffangbecken wurde das Wasser zur Bewässerung der Kulturen wieder verwendet und ggf. auch für die Frostschuttberegnung eingesetzt. Bei Wasserknappheit wurden die Becken mit Brunnenwasser aufgefüllt.

Das Pflanzensortiment der Betriebe variierte von einem breiten Spektrum bis hin zu einer starken Spezialisierung. *Rhododendron* und Koniferen stellten die wichtigsten Pflanzengruppen dar.

2.2 Filtrationssysteme

In den Baumschulen wurden die drei Systeme, Langsamsandfiltration (LSF), (HUISMAN und WOOD, 1974; WOHANKA, 1993; VAN KUIK, 1994), Filtration mit Lavagranulat (LGF) (RUNIA, 1996; LE QUILLEC et al., 2005) vom Hersteller Shieer Holland Int. (<http://www.shieer.nl>) sowie Wurzelraumfiltration (WRF) mit einem aquatischen System (HUETT, 2002) gebaut und getestet.

Der **Langsamsandfilter (LSF)** (Tab. 2; Abb. 2.1) wurde in drei verschiedenen Bauausführungen in den Baumschulen mit dem LSF 1 (April 2003) und LSF 2 (Mai 2003) gebaut. In der Baumschule mit dem LSF 3 wurde der bereits bestehende Filter aus dem Jahr 2001 in die Untersuchungen mit einbezogen. Langsamsandfilter bestehen im unteren Bereich aus einer Drainageschicht aus Kies mit abnehmender Korngröße von unten (32 mm) nach oben (2 mm). Auf diese Drainageschicht wird ein Filterbett aus Sand aufgefüllt. Das „Rohwasser“ aus den Auffangbecken sickert langsam (30 cm pro Stunde) durch den Sand und wird dann aus der Drainageschicht als Filtrat entnommen. An der Filteroberfläche entwickelt sich ein so genannter Biofilm (Schmutzdecke). In diesem Biofilm entwickelt sich die höchste mikrobielle Aktivität des Filters. Sie setzt sich bis zu ca. 10 cm unter der Filteroberfläche fort und nimmt dann ab (BRAND, 2002; CALVO-BADO et al., 2003). Die LSF wurden in zwei Baumschulen in einem Erd-Folien-Becken ohne Überdachung mit einer Filteroberfläche von 100 (LSF 3) und 324 m² (LSF 1) konstruiert. Die Filtrationsleistung betrug 30 bzw. 90 m³ pro Stunde. LSF 2 wurde in einem Stahltank („Silo“) erstellt und mit einem Bändchengewebe abgedeckt. Die Filterfläche von 260 m² ermöglichte eine Filtrationsleistung von 70 m³ pro Stunde. In der Baumschule mit dem LSF 3 wurden in 2005 Umbaumaßnahmen durchgeführt, wobei das Auffangbecken und das Reinwasserbecken miteinander verbunden

Tab. 1. Produktionsflächen, Bewässerungssysteme und Auffangbecken

| | Baumschule mit | | | | |
|-----------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|--|-------------------|
| | LSF 1 | LSF 2 | LSF 3 | LGF | WRF |
| Containerkulturfläche (ha) | 11 | 5 | 5 | 15 | 0,7 |
| Bewässerungssystem | Kreisregner | Kreisregner | - Gießwagen - Kreisregner | - Gießwagen - Tropfbewässerung - Kreisregner | Kreisregner |
| Drainagesystem | horizontal | horizontal | horizontal | vertikal | horizontal |
| Auffangbecken | | | | | |
| Bauausführung | Erdbecken ^a | Erdbecken ^a | Erdbecken ^a | Erd-Folien-Becken ^b | Erd-Folien-Becken |
| Beckengröße (m ³) | 3.000 | 30.000 | 1.500 + 2.000 ^c | 25.000 | 400 |

^a Abdichtung durch die natürliche Tonschicht am Standort

^b Sediment wird ca. alle 3 Jahre entfernt

^c zusätzliches Auffangbecken seit 2005

LSF = Langsamsandfilter, LGF = Lavagranulatfilter, WRF = Wurzelraumfilter

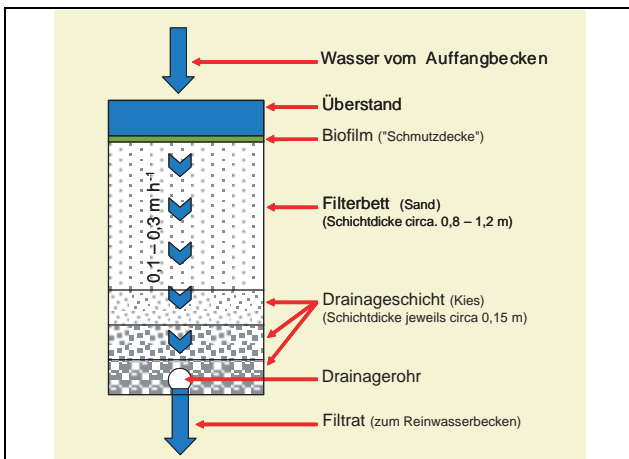


Abb. 2.1. Schema der Langsamsandfiltration



Abb. 2.2. Auslegen des Filterbeckens mit Stoffbahnen schützt die darauf folgende Teichfolie



Abb. 2.3. Einbau der Drainageschicht



Abb. 2.4. Filter in Betrieb



Abb. 2.5. Einbau der Drainageschicht (Bauart: Stahltank)



Abb. 2.6. Filter in Betrieb (Bauart: Stahltank)

Abb. 2. Langsamsandfilter (LSF).

wurden und ein neues Auffangbecken (2000 m³) gebaut wurde. In 2006 erfolgten Modifikationen beim Filterbetrieb.

Der **Lavagranulatfilter (LGF)** (Tab. 2.2; Abb. 3) wurde im Mai 2003 in Form von zwei baugleichen Modulen des patentierten Systems "Shieer Bio-Filter®" des Herstellers Shieer Holland Int. in Baumschule 4 in den Wasserkreislauf integriert. Als Filtergehäuse diente ein Stahltank, der mit einer 2,2 m hohen Schicht des Filtermediums (Lavagranulat) beschildet wurde. Das Rohwasser passiert diese Schicht von oben nach unten mit einer Geschwindigkeit von circa 60 cm pro Stunde. Die

Zudosierung eines „Aktivators“ (Bio-Water Clean® von Shieer) soll die Entwicklung von nützlichen Mikroorganismen auf der großen Oberfläche des Lavagranulats beschleunigen. Ein komplexes Rohrleitungssystem führt für die Mikroorganismen kontinuierlich Luft in den Filter und leitet das Lavagranulat vom Boden des Filters an die Oberfläche. Das ständige Umwälzen des Filtermediums soll auch den Kontakt des kontaminierten Wassers mit den Mikroorganismen erhöhen und ein Verstopfen des Filters verhindern. Die im Projekt untersuchte LGF-Anlage ist die erste, die im Freiland installiert wurde und

Tab. 2. Spezifikationen der getesteten Filter und Nutzungszeitraum

Tab. 2.1. Langsandsandfilter (LSF)

| | LSF 1 | LSF 2 | LSF 3 |
|--|--|--|---|
| Bauart | - Erd-Folien-Becken - mit Abdeckung - 3,3 m tief | - Stahltank - offen - 3,1 m tief | - Erd-Folien-Becken - offen ^a - 3,3 m tief |
| Filteroberfläche (m²) | 324 | 260 | 100 |
| maximale Filtrationsleistung (m³/h) | 90 | 70 | 30 |
| Ausgangshöhe des Filterbetts (m) | ca. 1 | ca. 1 | ca. 1 |
| Wasserüberstand (m) | ca. 0,5 | ca. 0,5 | ca. 0,5 |
| Filtersand | | | |
| Effektive Korngröße d ₁₀ (mm) | 0,14 | 0,14 | 0,15 |
| Uniformitätskoeffizient (UC) | 3,07 | 3,07 | 2,67 |
| abschlämbbare Teilchen (< 0,063 mm, %) | 0,67 | 0,67 | 0,00 |
| Säurelöslichkeit (nach 30 Min., %) | 0,30 | 0,30 | 0,08 |
| Drainageschicht | | | |
| Höhe der Drainageschicht (m) | 0,6 (3 Schichten, je 0,2 m) | | |
| Korngrößen der drei Drainageschichten (mm) | 2 – 8, 8 – 16, 16 – 32 | | |
| Drainagerohre (Nenndurchmesser, mm) | 50 | | |
| Pumpen | | | |
| Maximaler Förderstrom (m ³ /h) | 115 | - | - |
| Leistungsaufnahme (kW) | 4,4 | - | - |
| durchschnittlicher Nutzungszeitraum (brutto, Wochen/Jahr) | 28,2 | 36,4 | ca. 32,9 ^b |

^a zeitweise Abdeckung in 2004^b technischer Defekt der Messeinheit, Daten anhand der jährlichen Beregnungsintensität geschätzt

- = keine Daten vorhanden

Tab. 2.2. Lavagranulatfilter (2 baugleiche Filtermodule, Daten für ein Modul aufgelistet)

| | |
|--|--|
| Bauart | -Stahl-Folien-Becken - abgedeckt - 2,5 m tief |
| Filteroberfläche (m²) | 30 |
| Maximale Filtrationsleistung (m³/h) | 17 |
| Ausgangshöhe des Filterbetts (m) | ca. 2,2 |
| Lavagranulat | |
| Korngröße (mm) | ca. 2 - 4 |
| Füllmenge pro Filtermodul (m ³) | 66 |
| Ventilator | |
| Leistungsaufnahme (kW) | 3,4 |
| Additive | Biologischer Aktivator (Bio-Water Clean [®]) |
| Pumpen | |
| maximaler Förderstrom (m ³ /h) | 223 ^a / 18 ^b |
| Leistungsaufnahme (kW) | 0,3 ^a / 1,6 ^b |
| durchschnittlicher Nutzungszeitraum (brutto, Wochen/Jahr) | 26,9 |

Pumpen: ^a vom Auffangbecken zum Filter, ^b vom Filter zum Reinwasserbecken

zugleich eine der größten die Shieer Holland Int. bisher gebaut hat.

Die **Wurzelraumfiltration (WRF)** (Tab. 2.3; Abb. 4) wurde im Mai 2003 in der Baumschule 5 installiert. Bei der WRF sickert das Rohwasser in ein Becken mit einem Blähton-Boden-Gemisch, das mit Schilf und Segge bepflanzt ist. Ein leichtes

Gefälle in der Anlage lässt das Wasser langsam durch zwei weitere Becken fließen, auf denen überwiegend Iris in Styropor-Trays schwimmend ihr Wurzelsystem im Wasser entwickeln. Die Reinigungswirkung in diesem Filtrationssystem basiert insbesondere auf der großen Oberfläche der Wurzelsysteme und der anhaftenden Mikroorganismen. Diese Filtrations-

Tab. 2.3. Wurzelraumfilter

| | |
|--|--|
| Bauart | - 3 Erd-Folien-Becken (je 6 x 1m) - offen - ca. 1 m tief |
| Filteroberfläche (m²) | ca. 60 |
| Maximale Filtrationsleistung (m³/h) | 1,3 |
| Becken 1 (Schilfbecken) | |
| Substrat | - Blähton (ca. 5 m ³) - Erde (ca. 10 m ³) |
| Pflanzen | - <i>Phragmites australis</i> - <i>Carex riparia</i> <i>C. riparia</i> umschließt <i>P. australis</i> als Randstreifen |
| Anzahl Pflanzen/m ² | 6-8 |
| Becken 2 („aquatisches System“) | |
| Substrat | ohne Substrat |
| Pflanzen | <i>Iris pseudacorus</i> |
| Pflanzen/m ² | 7-8 |
| Becken 3 („aquatisches System“) | |
| Substrat | ohne Substrat |
| Pflanzen | <i>Metasequoia glyptostroboides</i> (1-2 m ²) vor <i>Iris pseudacorus</i> (16-17 m ²) |
| Pflanzen/m ² | 7-8 |
| durchschnittlicher Nutzungszeitraum (brutto, Wochen/Jahr) | 25,5 |

anlage wurde auf Wunsch des Baumschulers in 2006 nicht mehr in die Untersuchungen mit einbezogen.

In den Wintermonaten (November bzw. Dezember bis Februar bzw. März) wurde mit Ausnahme der WRF das Wasser aus den Filtern abgelassen und die Anlagen außer Betrieb genommen, um Frostschäden vorzubeugen. Die LSF wurden bei der Inbetriebnahme im Frühjahr von unten (Filtratentnahmerohr) mit Wasser befüllt, um Lufteinschlüsse zu verhindern. Der LGF wurde von oben befüllt. Zur Befüllung der LSF wurde grundsätzlich Reinwasser genommen. Der LGF erhielt zur Wiederbefüllung Wasser aus dem Auffangbecken. Aufgrund der ersten Untersuchungsergebnisse (siehe Kap. 3.5), wurde das erste Filtrat nach Wiederaufnahme des Betriebs zurück in das Auffangbecken geleitet.

2.3 Speicherung des filtrierten Wassers (Reinwasser)

In allen fünf Baumschulen wurde das filtrierte Wasser in separaten Reinwasserbecken gespeichert. Die Speicherkapazitäten der Reinwasserbecken betragen zwischen 1000 und 5000 m³ (Abb. 5.1). Alle Reinwasserbecken wurden mit Projektbeginn neu angelegt mit Ausnahme des Beckens in Baumschule 5 mit dem WRF. Dieses Reinwasserbecken wurde bereits vor dem Bau der Filteranlage als Wasserspeicher verwendet und enthielt aus dieser Zeit noch Reste von Wasser und Sediment. Die Baumschulen mit LSF 1 und 3 speicherten das Reinwasser in offenen Erdbecken, die nicht ausgekleidet waren (Abb. 5.2). Die Baumschulen mit LSF 2 und WRF speicherten das Reinwasser in Erdbecken, die mit Folie ausgekleidet waren. Das Folienbecken in der Baumschule mit dem LSF 2 war zusätzlich mit einer mehrschiffigen Bogendach-Konstruktion, die mit Silofolie eingedeckt war, geschützt (Abb. 5.3, 5.4). Das Filtrat des LGF wurde direkt in einen mit Folie ausgekleideten Stahl-tank mit einer Abdeckung aus Bändchengewebe geleitet (Abb. 5.5).

In die Reinwasserbecken wurde grundsätzlich nur filtrierte Wasser gepumpt. Nur die Baumschule mit dem SSF 3 leitete im Winter 2003/2004 Wasser aus dem Auffangbecken in das Reinwasserbecken, um ausreichend Wasser zur Frostschutzbe-regnung zur Verfügung zu haben. Diese Baumschule baute außerdem 2005 ihre Filtrationsanlage um, wobei das Auffang-becken mit dem Reinwasserbecken verbunden wurde.

2.4 Ermittlung der gefilterten Wassermenge

Die gefilterten Wassermengen wurden in den Anlagen mit Wasseruhren erfasst und anhand der technischen Daten der ver-wendeten Pumpen errechnet. Die Daten des LSF 3 gingen beim Auslesen durch einen technischen Defekt vollständig ver-loren und konnten für die Endauswertung nur basierend auf den Berechnungsdaten abgeschätzt werden.

2.5 Bestimmung der chemischen Wasserqualität und sta-tistische Auswertung

Wasserproben (0,5 l pro Probe) wurden im Mai, August und Oktober in den Jahren 2003 bis 2006 entnommen. Beprob-t wurden die Wasserauffangbecken (Probe „vor der Filtrati-on“) und das Filtrat unmittelbar am Filterablauf (Probe „nach der Filtration“). Die Probenanalyse erfolgte bei der LUFA Nord-West der Landwirtschaftskammer Niedersach-sen nach "Standard Gießwasseranalyse" (Parameter siehe Tab. 3).

2.6 Statistische Verrechnung

Alle statistischen Auswertungen erfolgten mit SigmaPlot 9.0 und SigmaStat 3.1. Mittelwertunterschiede wurden mit dem verbundenen t-Test und dem Rangsummentest berechnet, wenn die Werte normal verteilt waren und mit dem Wilco-

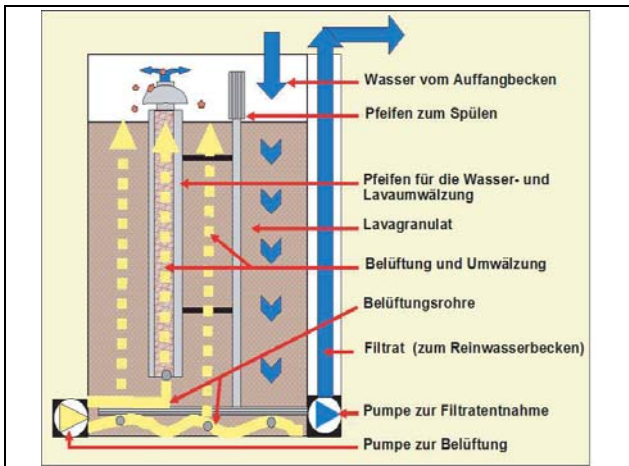


Abb. 3.1. Schema der Lavafiltration



Abb. 3.2. Filter vor dem Einfüllen des Lavagranulats



Abb. 3.3. Einfüllen des Lavagranulats



Abb. 3.4. Lavagranulat



Abb. 3.5. Filter in Betrieb

Abb. 3. Lavagranulatfilter (LGF).



Abb. 3.6. Filter mit Abdeckung (links)

xon-Rangsummen-Test, wenn keine Normalverteilung vorlag. In allen Tests betrug das Signifikanzniveau $p < 0,05$.

2.7 Ermittlung der Kosten

Die Kostenermittlung für den Bau und Betrieb der Filteranlagen basiert auf Kostenvoranschlägen, Rechnungen sowie Aufzeichnungen der Betriebe und der Baumschulberatung. Somit

flossen standortabhängige Faktoren, wie z. B. die ortsnahe Verfügbarkeit von Materialien und die verfügbaren Arbeitskräfte aber auch das "know how" der jeweiligen Baumschuler in die Kalkulation mit ein. Für die LSF basieren alle Berechnungen auf den Daten des LSF 1.

Den Berechnungen liegen folgende Kalkulationsansätze zugrunde:

Abschreibungszeitraum: 10 Jahre

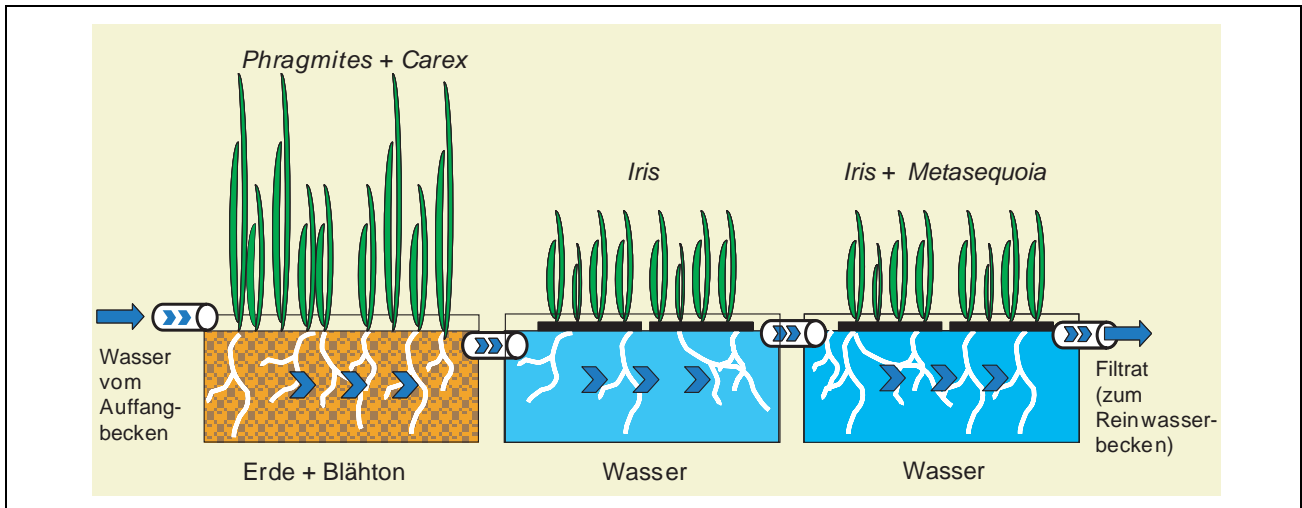


Abb. 4.1. Schema der Wurzleraumfiltration



Abb. 4.2. Becken 1: Schilf und Segge auf Substrat aus einer Blähton Erde Mischung

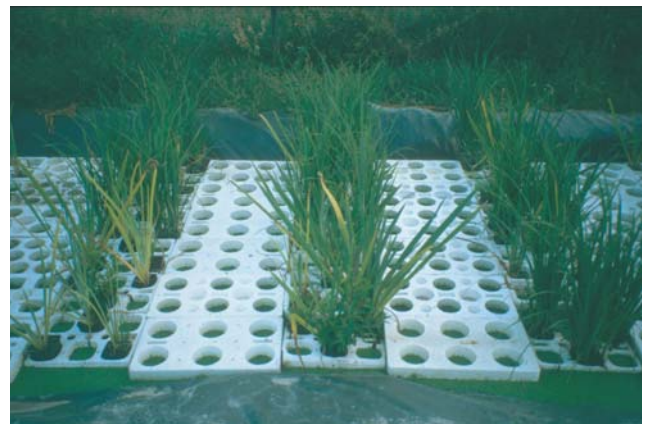


Abb. 4.3. Becken 2 und 3: "Aquatisches System" mit *Iris spec.* in Schwimmvorrichtungen

Abb. 4. Wurzelraumfilter (WRF).

Kalkulatorische Zinsen: 5%

Wartung pauschal: 1%

Kalkulierte Arbeitskosten (basierend auf Tarifdaten aus 2003 (www.tarifregister.nrw.de) und einem pauschalen Zuschlag von 50 % für die Nebenkosten

- Gärtnermeister 23,20 €/h
- Gärtnergehilfe 15,50 €/h
- Hilfsarbeitskraft 8,63 €/h

Stromkosten: 0,23 € kWh

Durchschnittlicher jährlicher Stromverbrauch:

LSF 1 = 5.736 kWh, LGF = 14.130 kWh, WRF = 1.040 kWh

Wartung LSF 1:

Reinigung: 2003, 2004 = 133 h (manuell, Gehilfe),

2005, 2006 = 20,5 h (maschinell, Meister)

Filtersand nachfüllen: 4 h (maschinell, Meister) alle 4 Jahre (75 t Sand, 15 €/t)

Wartung LGF:

Funktionskontrolle, Zudosierung von Bio-Water Clean®, Spülvorgänge durchführen: 108 h Jahr⁻¹ (Meister)

durchschnittliche Kosten für Bio-Water Clean® : 1.692 €/Jahr

Wartung WRF: 9 h Jahr⁻¹ (Hilfsarbeitskraft)

2.8 Nachweis von *Phytophthora* spp.

Basierend auf den Ergebnissen epidemiologischer Untersuchungen zu *Phytophthora* spp. im Recyclingwasser kommerzieller Containerbaumschulen (THEMANN et al., 2002a), wurden

Wasserproben (3 l) mit und ohne Sediment an drei Terminen im Jahr (Mai, August, Oktober) gesammelt. Die erste Beprobung fand im August 2003 statt, nachdem die Filter für vier Monate in Betrieb waren. Die letzte Beprobung erfolgte Ende Oktober 2006. Das Recyclingwasser wurde in jeder Baumschule an vier Orten innerhalb des geschlossenen Bewässerungssystems beprobt: Ablauf, Auffangbecken, Filtrat, Reinwasserbecken. Von den beiden Filtermodulen des LGF wurde pro Probenahmeterrin eine Mischprobe des Filtrats und von den beiden Reinwasserbecken das Silo 1 beprobt. Aufgrund umfangreicher Umbaumaßnahmen des Bewässerungssystems in der Baumschule mit dem LSF 3 wurden in 2006 nur die Proben aus dem Reinwasserbecken ausgewertet.

Für den Nachweis lebender *Phytophthora*-Strukturen in den Proben wurde der Rhododendron-Blatttest (THEMANN et al., 2002b) mit modifizierten Inkubationstemperaturen durchgeführt. In 2003 bei Temperaturen von 15/10 °C und 22/18 °C, 2004 bis 2006 bei 20/15 °C. Die Tageslänge betrug in allen Tests 14 Stunden. In jeder Probe wurde mit fünf Rhododendronblättern geködert. Von diesen Blättern wurden insgesamt 15 kleine Gewebestücke aus dem Blatt entnommen (jeweils drei pro Blatt) und auf Möhrenschnitzel-Agar (THEMANN et al., 2002b) für eine anschließende Isolierung der *Phytophthora* spp. ausgelegt. Die semiquantitative Kóderrate wurde prozentual anhand des Anteils infizierter Blattstücke bestimmt. Aufgrund der Vielzahl von *Phytophthora*-Isolaten wurde deren Bestimmung nur bis zur Gattungsebene anhand morphologischer Merkmale durchgeführt.

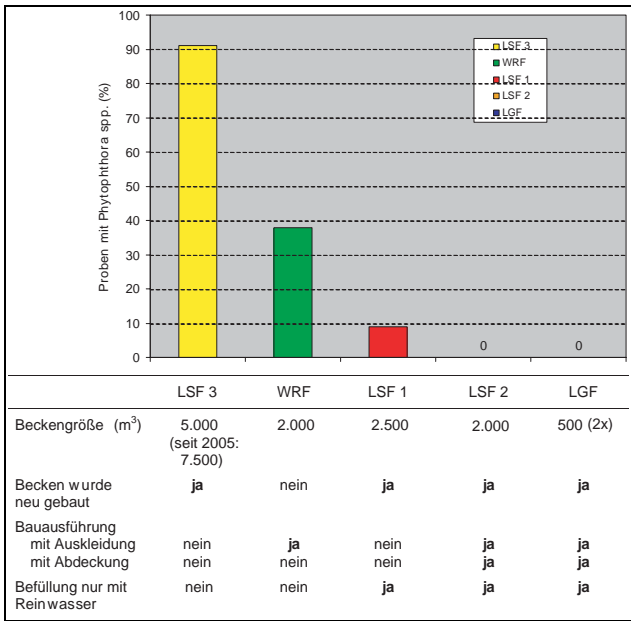


Abb. 5.1. Nachweis von *Phytophthora* spp. in Abhängigkeit von der Bauweise und der Befüllung der Reinwasserbecken



Abb. 5.2. Reinwasserbecken als offenes Erdbecken ohne Folieauskleidung



Abb. 5.4. Überdachung eines Reinwasserbeckens (Erd-Folien-Becken)



Abb. 5.3. Reinwasserbecken als Erd-Folien-Becken mit Bogendachkonstruktion (Bauphase)



Abb. 5.5. Reinwasserbecken als Stahltank (rechts) mit Abdeckung

Abb. 5. Nachweis von *Phytophthora* spp. in den Reinwasserbecken in Abhängigkeit von der Bauweise und der Befüllung.

2.9 Erhebung der Klimadaten

Um die Filteraktivität unter den klimatischen Bedingungen in den Baumschulen vor Ort zu beurteilen, wurden die Lufttemperatur in 2 m Höhe (Tagesmittelwert, Tagesminimum, Tagesmaximum in °C) und die Niederschlagsmengen (Tagessumme in mm) der offiziellen Wetterstationen in der LVG Bad-Zwischenahn (für alle drei LSF), Münster-Osnabrück (für den LGF) jeweils zwischen 2003 und 2006 und Bad Salzuflen (für den WRF) zwischen 2003 und 2005 ausgewertet und als Monatsmittelwerte dargestellt. Die maximale Entfer-

nung der Wetterstationen zu den jeweiligen Baumschulen betrug 15 km.

3 Ergebnisse

3.1 Filtrierte Wassermenge und Betriebszeit

Die in den vier Untersuchungsjahren filtrierte Wassermengen lagen im Durchschnitt zwischen 5 200 m³ und 118 000 m³ pro Jahr (Abb. 6.1). Der höchste Wasserbedarf war im Sommer in

Tab. 3. Chemische Wasserqualität vor (Auffangbecken) und nach (Filtrat) der Filtration

| Parameter | Langsamsandfilter 1 ^a | | | Langsamsandfilter 2 ^a | | | Langsamsandfilter 3 ^b | | | Lavagrulatfilter ^a | | | Wurzelaumfilter ^b | | |
|--|----------------------------------|------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------|---------------------------|-------------------------------|------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------|---------------------------|
| | Auffang-becken (n = 11) | Filtrat (n = 11) | Signifi-kanz ^c | Auffang-becken (n = 11) | Filtrat (n = 11) | Signifi-kanz ^c | Auffang-becken (n = 8) | Filtrat (n = 7) | Signifi-kanz ^c | Auffang-becken (n = 11) | Filtrat (n = 11) | Signifi-kanz ^c | Auffang-becken (n = 8) | Filtrat (n = 8) | Signifi-kanz ^c |
| pH | 7,7 | 7,5 | ns | 7,7 | 7,3 | ns | 8,5 | 7,9 | ns | 8,7 | 7,4 | * | 7,8 | 7,3 | * |
| Gesamthärte (°dH) | 10,1 | 9,7 | ns | 4,6 | 5,7 | * | 6,5 | 8,0 | ns | 8,5 | 9,3 | * | 6,8 | 6,6 | ns |
| Carbonathärte (°dH) | 7,2 | 7,5 | ns | 1,7 | 2,7 | * | 4,9 | 5,9 | ns | 3,8 | 3,5 | ns | 6,4 | 6,0 | ns |
| Leitfähigkeit (KCl) (µS/cm) | 224 | 215 | ns | 135 | 153 | * | 150 | 173 | * | 253 | 278 | * | 165 | 149 | ns |
| Chloride (Cl) (ppm) | 15 | 16 | ns | 17 | 17 | ns | 15 | 15 | ns | 44 | 46 | ns | 13 | 14 | ns |
| Sulfate (SO ₄) (ppm) | 37 | 35 | ns | 62 | 64 | ns | 26 | 33 | ns | 74 | 73 | ns | 23 | 19 | ns |
| Nitrat- Stickstoff (NO ₃ -N) (ppm) | 5,5 | 4,2 | ns | 3,0 | 2,5 | ns | 3,5 | 3,5 | ns | 6,2 | 12,1 | * | 1,5 | 0,7 | ns |
| Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N) (ppm) | 1,4 | 0,3 | * | 0,5 | 0,5 | ns | 0,4 | 0,4 | ns | 0,9 | 0,8 | ns | 3,6 | 1,4 | ns |
| Eisen (Fe) (ppm) | 1,3 | 0,2 | * | 1,0 | 0,4 | * | 1,1 | 0,7 | ns | 0,4 | 0,3 | ns | 0,7 | 0,6 | ns |
| Natrium (Na) (ppm) | 12 | 12 | ns | 9 | 9 | ns | 10 | 10 | ns | 26 | 27 | * | 11 | 10 | ns |
| Kalium (K) (ppm) | 13 | 12 | ns | 13 | 13 | ns | 9 | 10 | ns | 13 | 14 | * | 5 | 4 | ns |
| Calcium (Ca) (ppm) | 55 | 54 | ns | 20 | 25 | * | 33 | 40 | ns | 46 | 51 | * | 31 | 31 | ns |
| Magnesium (Mg) (ppm) | 7 | 6 | ns | 5 | 5 | ns | 4 | 4 | ns | 5 | 5 | ns | 6 | 5 | ns |

Mittelwerte des Beprobungszeitraums: ^a 2003-2006, ^b 2003-2005

^c verbundener t-Test und WILCOXON Rangsummentest mit $P=0,05$, * = signifikant, ns = nicht signifikant

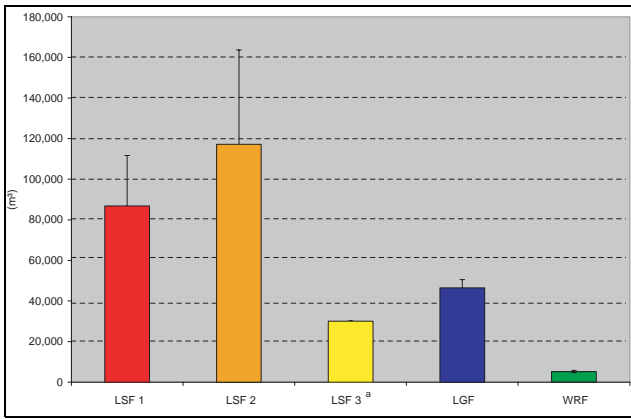


Abb. 6.1. Durchschnittliche jährlich filtrierte Wassermenge

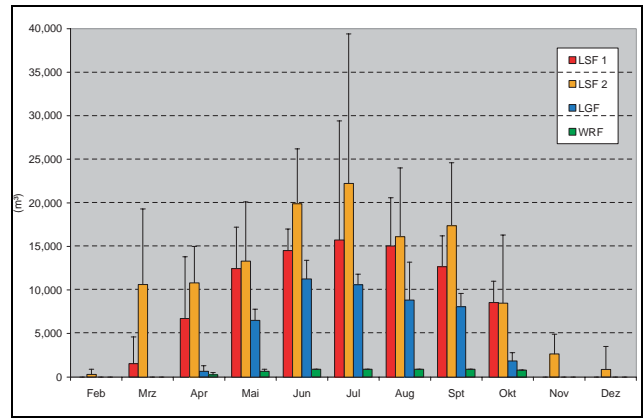


Abb. 6.2. Durchschnittliche monatlich filtrierte Wassermenge

Abb. 6. Filtrierte Wassermenge (Fehlerbalken = Maximalwert).

den Monaten Juni bis August (Abb. 6.2). In diesem Zeitraum entnahmen die Baumschuler mehr als 50 % der filtrierte jährlichen Wassermenge. Die Filter wurden im Frühjahr frühestens im Februar und spätestens im Mai ein- und frühestens im Oktober und spätestens im Dezember ausgeschaltet. Der durchschnittliche jährliche Nutzungszeitraum für die Filter lag demnach zwischen 25,5 und 36,4 Wochen (Tab. 2).

Die Baumschulen mit den LSF filterten im Durchschnitt zwischen 15 000 und 20 000 m³ Wasser pro Monat (Abb. 6.2). Ein Maximum von fast 40 000 m³ pro Monat wurde im Juli 2006 mit dem LSF 2 erreicht. Die jeweils ausgelegten Filterkapazitäten reichten in allen drei Baumschulen aus, um den Wasserbedarf mit filtrierte Wasser vollständig zu decken. Bei der Baumschule mit dem LGF lag der Wasserbedarf bei 10 000 m³ pro Monat mit einem Maximum von 14 000 m³ im Juni 2006. Zusätzliches Wasser war nur in den sehr trockenen Witterungsperioden 2003 und 2006 für einen Zeitraum von ca. 10 Tagen erforderlich. Der Grund für die Überschreitung des ursprünglich kalkulierten Wasserbedarfs war die Vergrößerung der Kulturlfläche nach der Fertigstellung des Filtrationssystems. Die WRF wurde unabhängig vom Bedarf mit ca. 900 m³ pro Monat in den drei Versuchsjahren gefahren. Der Baumschuler verschnitt zur Beregnung grundsätzlich 50 % Filtrat mit 50 % Brunnenwasser.

3.2 Chemische Wasserqualität

In den vier Jahren des Untersuchungszeitraums war die chemische Qualität des Wassers in den Auffangbecken und Filtraten geeignet für die Bewässerung von Ziergehölzen in der Containerkultur (Tab. 3). Eine Ausnahme war der hohe natürliche Eisengehalt in den drei Baumschulen mit den LSF (siehe unten).

Die pH-Werte in den Auffangbecken der fünf Baumschulen lagen in den vier Jahren zwischen 6,6 und 10,8. Die durchschnittlichen pH-Werte betragen 7,7 - 8,7 (Tab. 3). Die drei LSF beeinflussten die pH-Werte nicht signifikant (Mittelwerte 7,3 - 7,9). Beim LGF und der WRF verringerte sich der pH-Wert nach der Filtration signifikant von 8,7 auf 7,4 (LSF) bzw. von 7,8 auf 7,3 (WRF). In allen Systemen zeigten die Filtrate insgesamt geringere Schwankungen des pH-Wertes als das Wasser in den Auffangbecken. In den vier Versuchsjahren war im Filtrat pH 6,5 der niedrigste und 10,3 der höchste Wert.

Die natürlichen hohen Eisengehalte in den Auffangbecken der drei Baumschulen mit LSF erreichten Werte bis zu 2,5 ppm. In den Filtraten waren die Gehalte signifikant verringert auf unter 0,7 ppm (Tab. 3). Durch den LGF und den WRF wurde der Fe-Gehalt im Wasser nicht signifikant abgesenkt.

Nach der Filtration waren außerdem die Gesamthärte im LSF 2 und LGF, die Carbonathärte im LSF 2 und die Leitfähigkeit im LSF 2 und 3 und im LGF statistisch signifikant erhöht (Tab. 3). Die Stickstoffwerte änderten sich durch die Filtration nur im LSF 1 (Verringerung des Ammonium-Stickstoffs) und im LGF. Die signifikant erhöhten NO₃-N Werte nach der Filtration mit dem LGF wurden vermutlich durch die Zugabe von Salpetersäure in den Jahren 2003 bis 2005 verursacht. Mit Hilfe der Salpetersäure sollten Ablagerungen im LGF aufgelöst werden. Im Filtrat des LGF erhöhten sich außerdem signifikant die Na-, K- und Ca-Werte. Die Ca-Werte erhöhten sich auch durch die Filtration im LSF 2. Alle erhöhten Werte waren für die Qualität des Gießwassers für Ziergehölze im Container ohne Bedeutung.

3.3 Kosten

Die Investitionskosten für den Bau der Filtrationsanlagen betragen für den LSF 1 65 200 €, für den LGF 75 000 € und für die WRF 17 900 € (Tab. 4). Bei dem LSF 1 und der LGF sind in diesen Kosten der Bau des jeweiligen Reinwasserbeckens bzw. des Stahl tanks (LGF) enthalten. Die Baumschule mit der WRF baute kein neues Reinwasserbecken. Bezogen auf die ausgelegte Filtrationsleistung war der LSF 1 um das Dreifache preiswerter als der LGF und 19 mal preiswerter als die WRF. Bezogen auf die durchschnittlich tatsächlich filtrierte Wassermenge pro Jahr mussten für den LSF 1 ca. 50% weniger Kosten als für den LGF bzw. rund 80% weniger verglichen mit dem WRF aufgewendet werden.

Die jährlichen Gesamtkosten, basierend auf den Baukosten zusätzlich der Betriebskosten, lagen für den LSF 1 bei 11 200 €, für den LGF bei 17 600 € und für die WRF bei 2 900 € (Tab. 4). Der Anteil der darin enthaltenen variablen Kosten war für den LSF 1 (21 %) und den WRF (17 %) in etwa gleich, für den LGF jedoch deutlich höher (43 %). Der Grund für die hohen variablen Kosten beim LGF waren der Stromverbrauch für die Pumpen und Ventilatoren sowie ein hoher Zeitaufwand für die Wartung durch den Gärtnermeister.

Bezieht man die Kosten für Bau- und Betrieb der drei Anlagen auf ihre jeweils ausgelegte Filtrationsleistung, ergeben sich für den LSF 1 mit 124 €/m³h die niedrigsten Kosten im Vergleich zum LGF (518 €/m³h) und zum WRF (2 231 €/m³h) (Tab. 4). Berücksichtigt man die tatsächlich filtrierte Wassermengen pro Jahr ergibt sich dieselbe Reihenfolge: Der LSF 1 mit dem hohen Wasserverbrauch (86 800 m³/Jahr) filtert das Wasser dreimal preiswerter (0,13 €/m³) als der LGF (0,38 €/m³) mit dem wesentlich geringeren Wasserverbrauch (46 600 m³/Jahr). Die Kosten des WRF waren - bei einer jährlichen Filtratmenge von 5 200 m³ - mit 0,55 €/m³ am höchsten.

Tab. 4. Kosten für Bau und Betrieb

| Kostenart | | Langsamsandfilter 1 ^a | Lavagranulatfilter ^a | Wurzelraumfilter ^b |
|--|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Baukosten | (€) ^c | 65.200 | 75.000 | 17.900 ^c |
| Gesamtsumme für Bau und Betrieb^d | | | | |
| pro Jahr | (€) ^c | 11.200 | 17.600 | 2.900 ^d |
| pro Tag | (€) ^c | 31 | 48 | 8 |
| <i>davon:</i> | | | | |
| fixe Kosten | | | | |
| pro Jahr | (€) ^c | 8.800 (79%) | 10.100 (57%) | 2.400 (83%) |
| pro Tag | (€) ^c | 24 | 28 | 7 |
| variable Kosten | | | | |
| pro Jahr | (€) ^c | 2.400 (21%) | 7.500 (43%) | 500 (17%) |
| pro Tag | (€) ^c | 6 | 20 | 1 |
| Baukosten bezogen auf die | | | | |
| maximale Filtrationsleistung ^f | (€/m ³) ^c | 700 | 2.200 | 13.800 |
| filtrierte Wassermenge ^g | (€/m ³) | 0,75 | 1,61 | 3,44 |
| Bau- und Betriebskosten bezogen auf die | | | | |
| maximale Filtrationsleistung ^f | (€/m ³ h) | 124 | 518 | 2.231 |
| filtrierte Wassermenge ^g | (€/m ³) | 0,13 | 0,38 | 0,55 |

^a Berechnungszeitraum: 2003-2006, für LSF 2 und 3 wurden keine Berechnungen durchgeführt

^b Berechnungszeitraum: 2003-2005

^c ohne Reinwasserbecken

^d gerundet auf hundert

^e Abschreibungszeitraum: 10 Jahre

^f LSF 1: 90, LGF: 2x17, WRF: 1,3 (m³/h)

^g LSF: 86.800, LGF: 46.600, WRF 5.200 (m³/Jahr)

Tab. 5. Wartungsaufwand für die Langsamsandfilter (LSF)

| | LSF 1 - Erd-Folien-Becken - Rampen vorhanden - ohne Abdeckung | LSF 2 - Stahltank - ohne Rampen - mit Abdeckung | LSF 3 - Erd-Folien-Becken - ohne Rampen - ohne Abdeckung |
|---|---|---|--|
| | Arbeitszeitbedarf (h/100 m ² Filteroberfläche) | | |
| Schälen | | | |
| manuell | 3,7 | 3,1 | 4 |
| maschinell | 0,5 | - | - |
| Aufharken | | | |
| manuell | 1,1 | 0,8 | 1,2 |
| maschinell | 0,3 | - | - |
| Filtersand auffüllen (gesamte Filteranlage) | 5 ^a | 40 ^b | - |

- = Arbeiten wurden nicht durchgeführt

^a mit Traktor und Planierschild

^b Arbeiten mit Hilfe eines Teleskopladern (Kosten ca. 200,- €)

3.4 Besonderheiten der Langsamsandfilter

In allen drei Baumschulen mit den LSF verstopfte der Filter regelmäßig und musste im Durchschnitt pro Jahr 7,5 mal aufgeharkt und 2,5 mal geschält werden (Tab. 5). Aufgrund der zunehmenden Erfahrung der drei Baumschuler mit dem LSF ist zukünftig eine weitere Verringerung des Wartungsaufwandes zu erwarten. In 2004 und 2005 etablierte die Baumschule mit dem LSF 1 erfolgreich Maschinen unterstützte Methoden, die

den Zeitaufwand für das Harken und Schälen deutlich senkten (Abb. 7).

Nach drei Betriebsjahren wurden LSF 1 und LSF 2 mit neuem Filtersand aufgefüllt. Bei LSF 1 konnte der Sand vom Lastwagen direkt in den Filter abgeladen werden. Das anschließende Einebnen der Sandoberfläche erfolgte maschinell mit Schlepper und Planierschild (Abb. 7). Bei LSF 2 stellte das Nachfüllen einen größeren Aufwand dar. Ein Teleskoplader und viel "manpower" waren erforderlich.



Abb. 7.1. Manuelles Schälen der "Schmutzdecke" (links: "Igelwalze")



Abb. 7.2. Aufharken der "Schmutzdecke" mit dem Einachsschlepper



Abb. 7.3. Schlepper mit Planierschild



Abb. 7.4. Einfüllen des Filtersandes mit Hilfe eines Teleskopladlers

Abb. 7. Mechanisches Schälen und Aufharken der "Schmutzdecke" nach Verstopfung des Filters sowie Erneuerung des Sandes bei einem Langsandsfilter.

3.5 *Phytophthora* spp. im Wasserkreislauf vor und nach der Filtration

Phytophthora spp. konnte im Wasserkreislauf aller fünf Baumschulen nachgewiesen werden jedoch nicht in allen Proben zu jedem Beprobungstermin (Tab. 6). Im Teil des Wasserkreislaufs der vor der Filtration lag, wiesen die Proben aus den Abläufen insgesamt die höchste Zahl positiver Proben auf. Das galt besonders für die Baumschulen mit dem LSF 1 und LSF 3, wo alle Ablaufproben mit *Phytophthora* spp. kontaminiert waren während in der Baumschule mit dem LGF nur insgesamt eine Probe (Oktober 2003) kontaminiert war. Die Kōderraten in den Abläufen variierten erheblich. Auffallend waren die sehr hohen Kōderraten im Jahr 2005 in allen Baumschulen mit Ausnahme der Baumschule mit dem LGF. In den Auffangbecken, aus denen das Wasser auf die Filter gepumpt wurde, waren in der Baumschule mit dem LSF 1 alle Proben, in der Baumschule mit dem WRF alle bis auf eine, in den Baumschulen mit dem LSF 3 und dem LGF jeweils 54 % und in der Baumschule mit dem LSF 45 % der Proben mit *Phytophthora* spp. kontaminiert. Durchgängig hohe Kōderraten in den Auffangbecken wurden vor allem in der Baumschule mit dem LSF 1 in den Jahren 2005 und 2006 und in der Baumschule mit dem WRF im Jahr 2005 gefunden.

Alle drei LSF und der LGF eliminierten *Phytophthora* spp. in allen Untersuchungsjahren vollständig (Tab. 6). Beim LGF

wurde nur eine Filtratprobe positiv auf *Phytophthora* spp. getestet. Bei diesem Probenahmetermin im Oktober 2003 wurde das Filtrationssystem einige Tage vorher ausgeschaltet (geringer Bewässerungsbedarf) und erst wenige Minuten vor der Entnahme der Filtratprobe wieder in Betrieb genommen. Aufgrund dieses Ergebnisses wurde in der Baumschule nach allen folgenden Betriebsunterbrechungen das erste Filtrat zurück in das Auffangbecken zur erneuten Filtration geleitet. In den Proben des Filtrats aus der WRF wurde an drei Untersuchungsterminen *Phytophthora* spp. nachgewiesen. Die Kōderrate in diesen Proben war gering.

In den Baumschulen mit dem LSF 2 und dem LGF wurden über den gesamten Untersuchungszeitraum keine Kontaminationen mit *Phytophthora* spp. im Reinwasserbecken festgestellt (Abb. 5.1). Beide Baumschulen hatten ihre Reinwasserbecken abgedeckt bzw. überdacht und die Becken mit Folie ausgelegt, um einen Kontakt mit dem Boden auszuschließen. Die Baumschulen mit dem LSF 1, LSF 3 und dem WRF ohne Abdeckung des Reinwasserbeckens zeigten unterschiedliche Resultate: In dem Betrieb mit dem LSF 1, wo das Reinwasserbecken neu gebaut und nur mit filtriertem Wasser gefüllt wurde, war lediglich eine Probe kontaminiert. *Phytophthora* spp. wuchs hier aus nur einem einzigen Blattstückchen aus. In der Baumschule mit dem WRF, die das Filtrat in einem bereits vor Projektbeginn vorhandenen Erd-Folien-Becken sammelte, konnte an drei Untersuchungsterminen *Phytophthora* spp. mit einer geringen

Tab. 6. *Phytophthora*-Nachweis vor und nach der Filtration

Tab. 6.1. Langsandsfilter (LSF)

| Beprobungszeitpunkt | LSF 1 | | | LSF 2 | | | LSF 3 | | | |
|---|--------|--------------------|---------|--------|--------------------|---------|--------|--------------------|---------|----------------|
| | Ablauf | Auffang- becken | Filtrat | Ablauf | Auffang- becken | Filtrat | Ablauf | Auffang- becken | Filtrat | |
| (% Köderblattstücke mit <i>Phytophthora</i> spp., n = 15) | | | | | | | | | | |
| 2003 | Aug | 50 | 53 | 0 | 50 | 3 | 0 | 33 | 63 | 0 |
| | Okt | 73 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 23 | 0 |
| 2004 | Mai | 33 | 7 | 0 | 0 | 47 | 0 | 40 | 100 | 0 |
| | Aug | 100 | 47 | 0 | 40 | 0 | 0 | 47 | 0 | 0 |
| | Okt | 47 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 | 13 | 0 |
| 2005 | Mai | 100 | 87 | 0 | 100 | 0 | 0 | 100 | 87 | - ^a |
| | Aug | 100 | 100 | 0 | 100 | 0 | 0 | 100 | 73 | 0 |
| | Okt | 100 | 100 | 0 | 0 | 20 | 0 | 100 | 0 | 0 |
| 2006 | Mai | 100 | 93 | 0 | 100 | 7 | 0 | - | - | - |
| | Aug | 93 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - |
| | Okt | 100 | 93 | 0 | 0 | 93 | 0 | - | - | - |

- = Daten nicht ausgewertet, da Baumschule ihr Filtrationssystem 2006 umbaute

^a Wartungsarbeiten zum Probenahmetermin^b Umbau des Bewässerungskreislaufs

Tab. 6.2. Lavagranulatfilter (LGF) und Wurzelraumfilter (WRF)

| Beprobungszeitpunkt | LGF | | | WRF | | | |
|---|--------|---------------|---------|----------------|---------------|---------|----|
| | Ablauf | Auffangbecken | Filtrat | Ablauf | Auffangbecken | Filtrat | |
| (% Köderblattstücke mit <i>Phytophthora</i> spp., n = 15) | | | | | | | |
| 2003 | Aug | 0 | 3 | 0 | 43 | 43 | 0 |
| | Okt | 10 | 13 | 3 ^a | 90 | 77 | 13 |
| 2004 | Mai | 0 | 0 | 0 | 0 | 73 | 0 |
| | Aug | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Okt | 0 | 7 | 0 | 67 | 53 | 0 |
| 2005 | Mai | 0 | 53 | 0 | 80 | 100 | 7 |
| | Aug | 0 | 0 | 0 | 100 | 100 | 0 |
| | Okt | 0 | 0 | 0 | 27 | 100 | 27 |
| 2006 | Mai | 0 | 0 | 0 | - | - | - |
| | Aug | 0 | 67 | 0 | - | - | - |
| | Okt | 0 | 27 | 0 | - | - | - |

^a Beprobung ca. 20 Minuten nach Wiederinbetriebnahme des Filters

- = keine Daten, Baumschule nahm an den Untersuchungen in 2006 nicht teil

Köderrate nachgewiesen werden. In dem offenen Erdbecken der Baumschule mit dem LSF 3 wurden in 91 % aller Proben die Erreger nachgewiesen; mit einer sehr geringen Köderrate in 2003 bis 2004 und einer deutlich ansteigenden Köderrate in 2005.

3.6 Zusammenhang zwischen Dekontaminationsleistung der Filter und der Witterung

In dem vierjährigen Untersuchungszeitraum lagen die Lufttemperaturen zwischen -15,3 und +37,5°C. Die Durchschnittstemperaturen im Versuchszeitraum sind in Abb. 8 dargestellt.

Die monatlichen Niederschlagssummen lagen zwischen 36,8 und 107 mm.

Um den Einfluss der Temperatur auf die Dekontaminationsleistung der Filter zu beurteilen, wurde der Verlauf der mittleren Tagestemperatur in einem Zeitraum von 14 Tagen vor den Probenahmeterminen ausgewertet. Dabei wurden nur die Termine berücksichtigt, an denen *Phytophthora* spp. vor (Auffangbecken) aber nicht nach (Filtrat) der Filtration nachgewiesen wurde (21 von insgesamt 29 Proben bei den LSF, 5 von 11 Proben beim LGF). Die Mehrzahl der Tagesmittelwerte innerhalb der zwei Wochen lag im Frühjahr (April/Mai) zwischen 10°C und 15°C, im Sommer (Juli/August) zwischen 15°C und

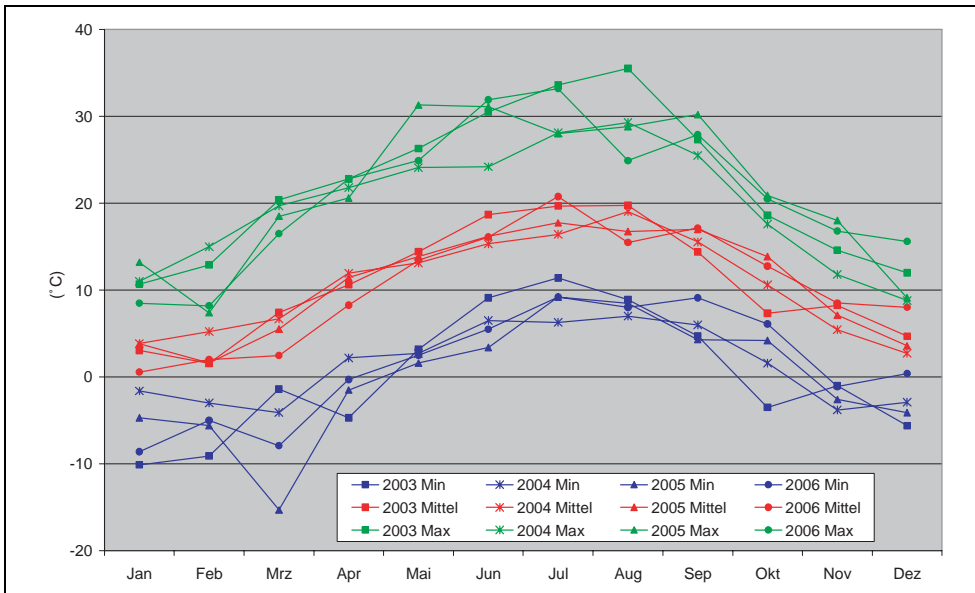


Abb. 8.1. Lufttemperaturen 2003-2006 für die Standorte der Langsam sandfilter (Daten der Wetterstationen LVG Bad Zwischenahn)

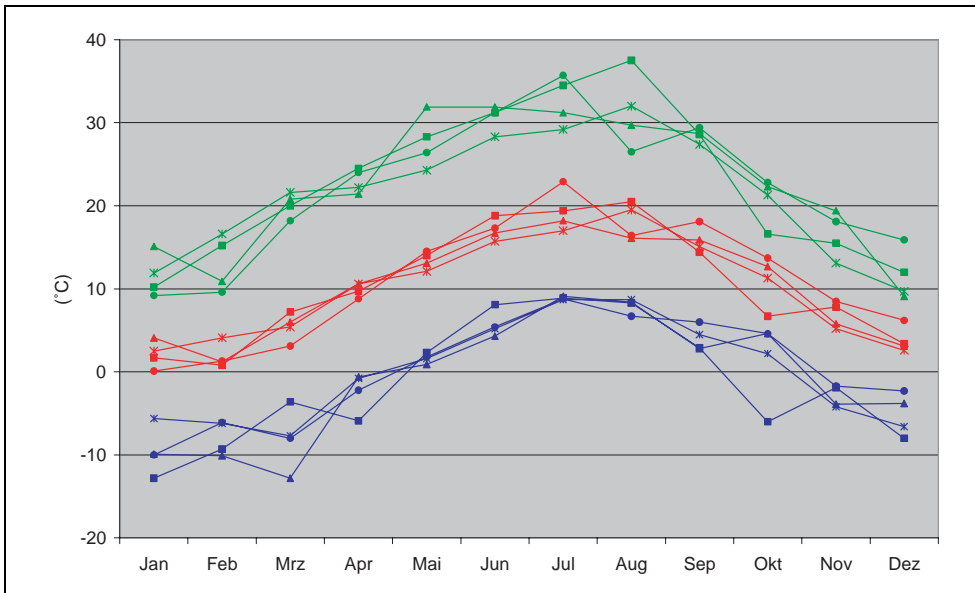


Abb. 8.2. Lufttemperaturen 2003-2006 für den Standort des Lavagranulatfilters (Daten der Wetterstation Münster/Osnabrück 2003-2006)

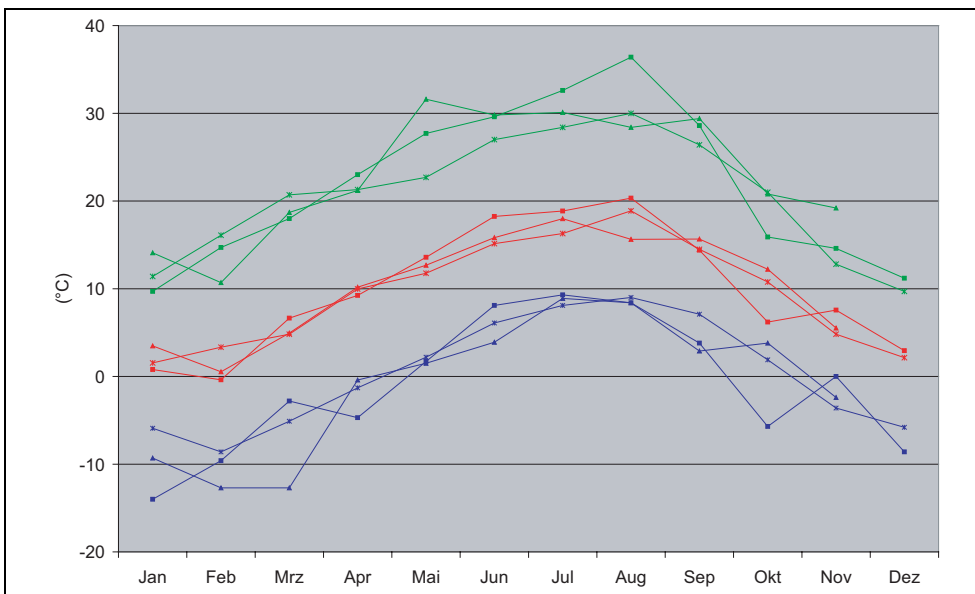


Abb. 8.3. Lufttemperaturen 2003-2005 für den Standort des Wurzelraumfilters (Daten der Wetterstation Bad Salzuffeln)

Abb. 8. Lufttemperaturen in den drei Baumschulregionen.

23°C und im Herbst (Oktober) zwischen 5°C bis 15°C. Bemerkenswert war, dass die Filterwirkung durch die niedrigen Temperaturen im Oktober 2003 nicht beeinträchtigt wurde. Der WRF wurde aufgrund der unsicheren Datenlage nicht ausgewertet.

4 Diskussion

4.1 Filtrationssysteme, Wasserbedarf, Wasserqualität und Kosten

Die Ergebnisse der vierjährigen Untersuchungen zeigen, dass LSF und LGF erfolgreich in Containerbaumschulen mit einem geschlossenen Bewässerungskreislauf integriert werden können und ausreichende Mengen Wasser auch in Spitzenzeiten liefern. Dabei sind die Wasserreinigungsverfahren im Vergleich zu anderen Methoden kostengünstig: Die Behandlung von 1 m³ Wasser kostet mit der LGF etwa gleich viel, mit dem LSF etwa dreimal weniger als z.B. Erhitzen, UV, Ultrafiltration, Ozonierung, Iodierung und Wasserstoffperoxid plus Aktivator. Bei diesem Kostenvergleich ist allerdings zu berücksichtigen, dass für die genannten Wasserentkeimungsverfahren nur Kostenkalkulationen aus dem Unter-Glas-Bereich vorliegen (KRUSCHE et al., 1995), jedoch nicht für große Freilandkulturen bzw. Containerbaumschulen mit einem geschlossenen Bewässerungskreislauf. Der Hauptanteil der variablen Kosten bei dem LSF waren Arbeitskosten; bei dem LGF waren es die Energiekosten gefolgt von den Arbeitskosten und den Kosten für Bio-Water Clean[®]. Da Energiekosten regional und zeitlich stark variieren, müssen die Gegebenheiten des jeweiligen Standortes bei einer Kostenkalkulation einer neuen Anlage berücksichtigt werden. Für die WRF ist auf der vorliegenden Datenlage noch keine abschließende Beurteilung möglich.

Die LSF-Filtrate wiesen im Vergleich zu den Proben aus den Auffangbecken bei der chemischen Wasseranalyse für einige Elemente geringere Gehalte sowie eine Abschwächung der jahreszeitlichen pH-Schwankungen zwischen 7 und 8 auf. Außerdem enthielten die Filtrate niedrigere Eisengehalte als das Wasser in den Auffangbecken. Dies bedeutet jedoch nicht, dass LSF gezielt zur Eliminierung hoher Eisengehalten im Wasser verwendet werden kann. Eisenhaltiges Wasser sollte auf keinen Fall direkt auf den LSF geleitet werden, da Eisen und auch Mangan das Verstopfen der Filter fördern. Die Beseitigung von Feinpartikeln im Wasser war ein weiterer positiver Aspekt der LSF. Dadurch konnte das Verstopfen von Regnerdüsen und Vorfilter verringert oder vollständig verhindert werden. Bei der Kostenkalkulation können die so eingesparten Arbeitskosten mit den Arbeitskosten für das Schälen der Filteroberfläche verrechnet werden. Dieser Effekt ist allerdings nur dauerhaft, wenn das Reinwasser geschützt vor Verschmutzung aufbewahrt wird.

4.2 Dekontamination und Reinwasserbevorratung

Die drei LSF eliminierten *Phytophthora* spp. erfolgreich aus dem Wasser geschlossener Bewässerungskreisläufe kommerzieller Baumschulbetriebe. Der LGF erreichte ebenfalls eine hundertprozentige Dekontamination. Da in dieser Baumschule aber nur sehr wenige Wasserproben aus dem Auffangbecken überhaupt mit *Phytophthora* spp. kontaminiert waren, müssten die Ergebnisse mit stärker kontaminierten Wasserproben abgesichert werden. Die WRF kann ebenfalls nicht abschließend beurteilt werden, da der mehrfache Nachweis von *Phytophthora* spp. im Filtrat eventuell durch andere Faktoren, wie unzureichende Wartung/Pflege der Anlage verursacht wurde, und die beteiligte Baumschule sich im Jahr 2006 an den Untersuchungen nicht mehr beteiligte.

Die Temperaturen im Betriebszeitraum (April bis Oktober) der LSF und des LGF hatten keinen Einfluss auf die Dekontaminationsleistung dieser beiden Systeme. Entgegen den Aussagen in der Literatur beeinflussten Temperaturen um ca. 5°C die Wirkung des LSF nicht negativ. Für den LSF wird eine Betriebstemperatur über 15°C (VAN KUIK, 1994) oder von 10-20°C (PYPER und LOGSDON, 1991) empfohlen. Temperaturen unter 1-5°C sollen die Aktivität des LSF stoppen (VAN KUIK, 1994) und Temperaturen über 25°C mindern (PYPER und LOGSDON 1991). Empfehlungen für die optimale biologische Aktivität im LGF liegen im Bereich 15° bis 25°C (LE QUILLEC et al., 2005). Der Shieer Bio-Filter[®] (LGF) im Projekt soll nach Informationen des Herstellers ab einer Minimumtemperatur von 8°C; bzw. der Optimaltemperatur über 13°C betrieben werden (Van Ruyven Shieer Int., mündl. Mitteilung).

Für den Dekontaminationserfolg ist entscheidend, dass die Filter alle *Phytophthora*-Arten und alle Organe dieser Pathogene unabhängig von der vorhandenen Menge eliminieren. Die Berechnung der Köderrate lässt keine exakten Rückschlüsse auf die Quantität lebender Verbreitungsorgane von *Phytophthora* in den verschiedenen Teilen des Bewässerungskreislaufs zu. Trotzdem ist ein Relativvergleich möglich: Eine hohe Köderrate deutet auf das Vorhandensein einer größeren Anzahl von Zoosporen in der Wasserprobe und damit auf ein höheres Infektionsrisiko bei der Beregnung hin. Für *Phytophthora*-Arten gibt es keinen allgemeingültigen Schwellenwert für eine Pflanzeninfektion. Grundsätzlich stellt jedes *Phytophthora*-Organ eine potentielle Gefahr für die Kultur dar (BRUCK und KERNLY, 1983; LUTZ und MENGE, 1991). Auf die Dekontaminationsleistung von LSF und LGF hatte die Köderrate (Zoosporenzahl) keinen Einfluss, was vermuten lässt, dass auch eine hohe Anzahl von Zoosporen oder anderer *Phytophthora*-Organe problemlos aus dem Wasser eliminiert werden.

Im Rahmen des Projekts war eine vollständige Bestimmung der geköderten und isolierten *Phytophthora*-Arten nicht möglich. Aus vorhergehenden Untersuchungen ist bekannt, dass ein weites Artenspektrum in Abhängigkeit von der Jahreszeit und dem Jahr im Recyclingwasser von Baumschulen vorkommen kann (MACDONALD et al., 1994; LAUDERDALE und JONES 1997; VON BROEMBSSEN und WILSON, 1998; THEMANN et al., 2002a; BUSH et al., 2003; HONG und MOORMAN 2005). Der negative Nachweis in den Filtraten des LSF und LGF zeigen, dass alle in den Bewässerungskreisläufen vorhandenen *Phytophthora*-Arten während der vierjährigen Projektzeit von den Filtersystemen erfasst wurden. Sie bieten somit einen guten Schutz nicht nur vor den im Wasserkreislauf vorhandenen sondern mit hoher Wahrscheinlichkeit auch vor neuen *Phytophthora*-Arten, die in den Wasserkreislauf gelangen könnten.

Eine gute Dekontaminationsleistung der Filter ist nur dann sinnvoll, wenn das Filtrat geschützt vor Verunreinigungen gespeichert wird. Am Beispiel der Baumschulen mit dem LSF 3 und WRF wird deutlich, dass der Kontakt zu unfiltriertem Wasser bzw. alten, kontaminierten Auffangbecken unbedingt vermieden werden muss. Die Bevorratung in einem Stahltank stellt diesbezüglich eine gute Möglichkeit dar. Bei Verwendung eines Erdbeckens sind Folien sowohl zur Abdichtung zum Untergrund als auch zur Abdeckung bzw. Überdachung der Wasseroberfläche unbedingt zu empfehlen. Dadurch wird das Risiko einer Kontamination über den Boden oder über den Luftweg weitgehend ausgeschlossen. Von Vorteil wären zwei oder mehr Reinwasserbecken, die einzeln gereinigt werden können, ohne den Bewässerungskreislauf unterbrechen zu müssen. Weiterhin ist zu beachten, dass ein Reinwasserbecken nicht mit unfiltriertem Recyclingwasser oder aus angrenzenden Oberflächengewässern (z. B. Flusswasser) befüllt wird, da diese Quellen kontaminiert sein können. Durch die Verwendung von Brunnenwasser kann dieses Risiko minimiert werden (THEMANN et al., 2002a). Um sicher zu gehen, sollte man trotzdem das Brunnenwasser im Jahresverlauf auf *Phytophthora*

Tab. 7. Empfehlungen für Filtrationsanlagen in Containerbaumschulen

| Filtersystem | Kriterium | Empfehlung | Begründung |
|--------------------|---------------------------------------|--|--|
| LSF, LGF, WRF | Standort innerhalb der Baumschule | möglichst zentral | - kein zusätzlicher Zeitaufwand für tägliche Kontrollen - guter Erreichbarkeit mit "schwerem Gerät" |
| LSF, LGF, WRF | Anzahl Filtermodule | > 1 | - Wasserverfügbarkeit sichergestellt auch bei Betriebsunterbrechung eines Filtermoduls - gleichmäßiger Volumenstrom im Filter durch zu- und abschalten einzelner Filtermodule |
| LSF, LGF, WRF | Reinwasserbecken | - Abdeckung / Überdachung - Folienauskleidung - Tank | Verhinderung von nachträglichen Kontaminationen |
| vor allem LSF, LGF | Vorbehandlung des Rohwassers | Installation eines rückspülbaren Vorfilters | - Verbesserung der Rohwasserqualität - Reduzierung der Reinigungsstermine - bessere Plan- und Steuerbarkeit des Reinigungszeitpunktes |
| LSF, LGF | Befüllung vor erneuter Inbetriebnahme | nur mit Reinwasser neu befüllen; wenn kein Reinwasser zur Verfügung steht, erstes Filtrat zurück in das Auffangbecken leiten | Filter brauchen Anlaufzeit, bis optimale Filterleistung erreicht wird |
| LSF | Zugang / Erreichbarkeit | Rampen zum und in den Filter | - einfaches Befüllen mit Kies/Sand beim Filterbau und Erneuern des Filterbetts - Filterreinigung mit Schleppern wird erleichtert |
| LSF | Ablauf für den Wasserüberstand | Installation beim Bau der Filteranlage | schneller Abfluss des Überstandes (insbesondere bei kompletter Verstopfung) |
| LSF | Wasserüberstand / Überstauhöhe | ca. 1 m (Erhöhung des hydrostatischen Drucks) | - Erhöhung der Filterlaufzeit - bessere Steuerbarkeit von Laufzeit und Reinigungszeitpunkt |
| LSF | Mechanisierung der Filterreinigung | - Aufharken: Einachsschlepper - Schälen: Schlepper + Planierschild | deutliche Verringerung der Arbeitszeit |

LSF = Langsandsandfilter, LGF = Lavagranulatfilter, WRF = Wurzelraumfilter

testen. Das Wiederbefüllen von Filtersystemen sollte mit sauberem Wasser oder Brunnenwasser erfolgen. Muss der Filter nach einer Betriebsunterbrechung neu gestartet werden, muss das erste Filtrat verworfen werden, da es eventuell noch mit *Phytophthora* kontaminiert sein kann.

Die Dekontaminationsleistung der Filtrationssysteme ist nicht selektiv für *Phytophthora*-Arten. Auch andere Pflanzenpathogene wie Bakterien, Viren, Pilze und Nematoden können reduziert werden, jedoch ist eine vollständige Eliminierung aus dem Wasser abhängig von der Organismengruppe (BERKELMANN et al., 1993; RUNIA, 1996; BARTH, 1998; BRAND, 2002).

4.3 Empfehlungen beim Neubau einer Filtrationsanlage

Aufgrund der vierjährigen Erfahrung mit den Filtrationsverfahren können für den Bau neuer Anlagen in kommerziellen Baumschulbetrieben folgende Empfehlungen gegeben werden:

- Die Berechnung der maximalen Wassermenge, die pro Baumschule filtriert werden muss, basiert unter anderem auf der Größe aller Containerkulturflächen im Betrieb. Entsprechend ausgelegte Filtrationsanlagen beanspruchen in der Regel viel Platz. Der LGF kommt aufgrund des größeren Volumenstroms pro Flächeneinheit mit deutlich weniger Platz aus als der LSF. Wenn ausreichend Platz vorhanden ist, ist

grundsätzlich zu überlegen, ob statt einer großen vielleicht besser zwei oder mehrere kleinere Anlagen, die unabhängig voneinander gesteuert werden können, gebaut werden. Je nach Wasserbedarf könnten die einzelnen Module zu- bzw. abgeschaltet werden. Die wichtigsten Aspekte für Bau und Betrieb eines LSF sind in Tab. 7 zusammengestellt.

- Die Bevorratung des filtrierten Wassers sollte grundsätzlich in geschützten Becken, wie überdachte Erd-Folien-Becken oder abgeschlossene Stahltanks aufbewahrt werden, um eine Kontamination mit *Phytophthora* spp. (und anderen Krankheitserregern) über den Boden und die Luft auszuschließen. Bei großen Anlagen sind zwei oder mehrere unabhängige Speicher empfehlenswert, damit der Wasserkreislauf nicht vollständig unterbrochen werden muss, falls ein kontaminiertes Reinwasserbecken gereinigt werden muss.
- Grundvoraussetzung für den Betrieb eines LSF ist das regelmäßige Reinigen der Filteroberfläche. Die Häufigkeit der Reinigungsstermine hängt unter anderem von der Rohwasserqualität und der Strömungsgeschwindigkeit ab (CLEASBY, 1991). Je höher die Partikelfracht und je schneller die Strömungsgeschwindigkeit, desto eher setzt sich der Filter zu. Um das Wasser grob vorzureinigen, wurden und werden zur Zeit verschiedene Methoden getestet, wie z. B. „Igelwalze“, rückspülbarer Vorfilter, in dem ein spezielles

- Filtergranulat aus Anthrazit verwendet wird und eine Wurzelraumfiltrationsanlage. Die letzten beiden Methoden sind in der Probephase. Zum regelmäßigen Aufreißen der „Schmutzdecke“ wurde im Rahmen des Projekts über zwei Jahre die Eigenkonstruktion einer automatischen „Igelwalze“ getestet. Diese Methode kann nicht empfohlen werden, da es hierdurch zu Verstopfungen in einem Bereich von mehreren Zentimetern unterhalb der „Schmutzdecke“ kam.
- Beim LGF traten Verstopfungen in den Rohren für die Umwälzung der Lava auf. Die Zirkulation vom Filterboden zur Oberfläche nahm kontinuierlich ab und kam in vielen Rohren nach einigen Wochen vollständig zum Erliegen. Die Herstellerfirma modifizierte daraufhin das Umwälzsystem und der Filter wurde mit neuem Lavagranulat gefüllt. Die Rückspülung erfolgte nun mit höherem Druck und separat für jedes Rohr im Filter. Eine vollständige und dauerhafte Umwälzung konnte hierdurch nicht erreicht werden. Im Frühjahr 2007 wurde das Lavagranulat ein weiteres Mal in einem der beiden Filtermodule ausgetauscht. Es wurde versucht, eine Körnung von überwiegend 2 bis \leq 4 mm zu erreichen. Seitdem läuft der Filter störungsfrei. Sollte die exakte Korngrößenfraktion die Ursache für die Funktionsstörungen sein, könnten diese behoben werden und die kalkulierten, hohen Wartungskosten ließen sich deutlich um ca. 30 % senken. Im Vergleich zum LSF ist der LGF ein "High Tech" System, was bei Reparaturen zu einer Abhängigkeit vom Hersteller führen kann. Die Wartung des LSF (u. a. die Filterreinigung) kann in der Regel vom Baumschüler selbstständig durchgeführt werden. Dies sollte bei der Kostenkalkulation einer Neuanlage berücksichtigt werden.
 - Eine Wiederbefüllung der Filter sollte grundsätzlich nur mit Reinwasser erfolgen. Ist dies nicht möglich, muss das erste Filtrat zurück in das Auffangbecken geleitet werden. Erst wenn der Filter wieder optimal arbeitet, besteht keine Gefahr mehr, dass *Phytophthora*-Organe durchgelassen werden.

5 Danksagung

Wir danken Julia HAUFFE und Henrike GOTTFRIED für ihre Hilfe bei der Isolierung der *Phytophthora*-Arten. Unser Dank gilt auch Herrn Dr. T. BRAND, Herrn R. LÜTTMANN und Herrn H. BELTZ für die immer hilfreichen Diskussionen während der Projektbesprechungen. Frau K. KAMINSKI danken wir ganz herzlich für die zeitweilige Unterstützung. Einen ganz besonderen Dank möchten wir den fünf beteiligten Baumschülern aussprechen, die ihre Betriebe für das Projekt zur Verfügung stellten und mit zunehmender Begeisterung gute Ideen einbrachten. Das Projekt wurde finanziert durch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), wofür wir uns ebenfalls bedanken.

6 Literatur

- BACKHAUS, G.F., R. HAERIG, E. HEMJOLTMANN, 1990: Zum Risiko der Verbreitung von Krankheitserregern am Beispiel eines geschlossenen Kultursystems mit Eriken. *TASPO-Praxis* **18**, 62-71.
- BARTH, G., 1998: Investigation of sand filtration for nursery recycling systems. Horticultural Research & Development Corporation, Gordon, NSW.
- BERKELMANN, B., W. WOHANKA, G. KREZAL, 1993: Transmission of pearlagonium flower break virus by recirculating nutrient solutions with and without slow sand filtration. *Acta Hort* **361**.
- BRAND, T., 2002: Beurteilung der Bakterienflora von Langsandsfiltern als biologische Filtrationskomponente in geschlossenen Bewässerungssystemen des Gartenbaus. Geisenheimer Berichte – Band 41, Gesellschaft zur Förderung der Forschungsanstalt, Geisenheim.
- BROEMBSSEN, S.L. VON, S.K. WILSON, 1998: Occurrence of *Phytophthora* spp. in nursery runoff and recycled irrigation water. *Phytopathology* **90**, 9.
- BRUCK, R.I., C.M. KERNLY, 1983: Effects of metalaxyl on *Phytophthora cinnamomi* root rot on *Abies fraseri*. *Plant Dis.* **67**, 688-690.
- BUSH, E.A., C.X. HONG, E.L. STROMBERG, 2003: Fluctuations of *Phytophthora* and *Pythium* spp. in components of a recycling irrigation system. *Plant Dis.* **87**, 1500-1506.
- CALVO-BADO, L.A., T.R. PETTITT, N. PARSON, G.M. PETCH, J.A.W. MORGAN, J.M. WHIPPS, 2003: Spatial and temporal analysis of the microbial community in slow sand filters used for treating horticultural irrigation water. *Applied and Environmental Microbiology* **69**, 2116-2125.
- CLEASBY, J.L., 1991: Source Water Quality and Pretreatment Options for Slow Sand Filters. Pages 69-100 in: *Slow Sand Filtration*. G.S. Logsdon ed. American Society of Civil Engineers, New York.
- HONG, C.X., G.W. MOORMAN, 2005: Plant pathogens in irrigation water: challenges and opportunities. *Critical Reviews in Plant Sciences*. **24**.
- HUETT, D.O., 2002: Constructed Wetlands to reduce nutrient and pathogen loads in recycled nursery water. Horticultural Australia Ltd, Sydney, NSW.
- HUISMAN, L., W. WOOD, 1974: *Slow Sand Filtration*. World Health Organisation (WHO), Geneva, Switzerland, pp. 44. <http://whqlibdoc.who.int/publications/9241540370.pdf>
- KRUSCHE, S., H. RANGE, W. SENNEKAMP, 1995: Nährlösungs- und Gießwasserenteimung für gärtnerische Kulturen unter Glas. Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe, Gruppe 33 Gartenbau, Lehrschau IPN 1995, Münster, Germany, pp.45.
- LAUDERDALE, C.C., R.K. JONES, 1997: Monitoring irrigation ponds for *Phytophthora* spp. *Proc. South. Nurs. Assoc. Res. Conf.* **42**, 225-226.
- LE QUILLEC, S., F. DÉNIEL, P. REY, A. GUILLOU, 2005: L'épuration des eaux de drainage par biofiltration. Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes (Ctifl) http://www.fruits-et-legumes.net/revue_en_ligne/point_sur/fich_pdf/PSBiofiltration.pdf
- LUTZ, A.L., J.A. MENGE, 1991: Population fluctuations and the number of propagules of *Phytophthora parasitica* that occur in irrigated citrus groves. *Plant Dis.* **75**, 173-179.
- MACDONALD, J., M.S. ALI-SHTAYEH, J. KABASHIMA, J. STITES, 1994: Occurrence of *Phytophthora* spp. in recirculated nursery irrigation effluents. *Plant Dis.* **78**, 607-611.
- PYPER, G.R., G.S. LOGSDON, 1991: *Slow Sand Filter Design*. Pages 122-148 in: *Slow Sand Filtration*. G.S. Logsdon ed. American Society of Civil Engineers, New York.
- RUNIA, W.T., 1993: A review of possibilities for disinfections of recirculation water from soilless cultures. *New Cultivation systems in Greenhouse*. *Acta Hort* **361**.
- RUNIA, W.T., 1996: Lavafiltratie geschikt tegen phytophthora. *Vakblad voor de Boemisterij* **50**, 52-53.
- THEMANN, K., S. WERRES, R. LÜTTMANN, H.A. DIENER, 2002a: Observations of *Phytophthora* spp. in water recirculation systems in commercial hardy ornamental nursery stock. *European Journal of Plant Pathology* **108**, 337-343.
- THEMANN, K., S. WERRES, R. LÜTTMANN, H.A. DIENER, 2002b: Comparison of different methods to detect *Phytophthora* spp. in recycling water from nurseries. *Journal for Plant Pathology* **84**, 41-50.
- UFER, T., S. WERRES, M. POSNER, H.P. WESSELS, (in Druck): Filtration to eliminate *Phytophthora* spp. from recirculating water systems in commercial nurseries. *Plant Health Progress*. <http://www.plantmanagementnetwork.org/php/default.asp>.
- VAN KUIK, A.J., 1994: Eliminating *Phytophthora cinnamomi* in a recirculated irrigation system by slow sand filtration. *Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent* **59**, 1059-1063.
- WERRES, S., S. WAGNER, T. BRAND, K. KAMINSKI, D. SEIPP, 2007: Survival of *Phytophthora ramorum* in Recirculating Irrigation Water and Subsequent Infection of *Rhododendron* and *Viburnum*. *Plant Dis.* **91**, 1034-1044.
- WHITESIDE, J.O., T.W. OSWALT, 1973: An unusual brown rot outbreak in a Florida citrus grove following sprinkler irrigation with *Phytophthora*-infested water. *Plant Disease Reporter* **57**, 391-393.
- WOHANKA, W., 1993: Slow sand filtration and UV radiation; Low cost techniques for disinfection of recirculating nutrient solutions or surface water. *ISOC Proceedings of the 8th Internat. Congr. on Soilless Culture 1992*, 497-511.

Zur Veröffentlichung angenommen: Oktober 2007

Kontaktanschrift: Dr. Sabine Werres, Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, E-Mail: sabine.werres@jki.bund.de